

99, 5374



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 **Offenlegungsschrift**
①0 **DE 42 07 916 A 1**

⑤ Int. Cl. 5:
H 01 L 21/90
H 01 L 23/535
// H 01 L 27/108

B2

DE 42 07 916 A 1

②1 Aktenzeichen: P 42 07 916.0
②2 Anmeldetag: 12. 3. 92
④3 Offenlegungstag: 15. 10. 92

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1

09.04.91 JP 3-76544

⑦1 Anmelder:

Mitsubishi Denki K.K., Tokio/Tokyo, JP

⑦4 Vertreter:

Prüfer, L., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 8000 München

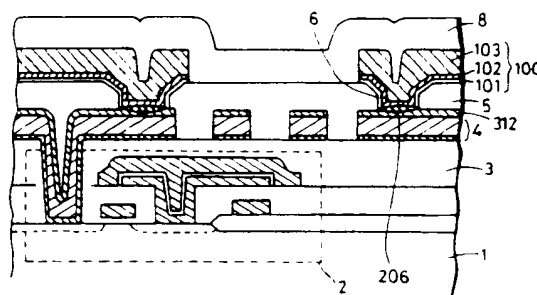
⑦2 Erfinder:

Harada, Shigeru; Ishimaru, Kazuhiro; Hagi, Kimio,
Itami, Hyogo, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verbindungsstruktur einer integrierten Halbleiterschaltungseinrichtung und Verfahren zur Herstellung dieser

⑤7 Beschrieben wird eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung mit einer Verbindungsstruktur, bei der mehrere Aluminium-Verbindungsschichten miteinander durch Verbindungslöcher verbunden sind. Eine erste Aluminium-Verbindungsschicht (4) ist auf einer Hauptoberfläche eines Halbleitersubstrates (1) gebildet. Die erste Aluminium-Verbindungsschicht hat eine Oberflächenschicht (312), die ein Metall mit einem hohen Schmelzpunkt, eine Metallverbindung mit einem hohen Schmelzpunkt, ein Metallsilizid mit einem hohen Schmelzpunkt oder amorphes Silizium enthält. Eine Isolierschicht (5) ist auf der ersten Aluminium-Verbindungsschicht (4) gebildet und hat ein Durchgangsloch (6), das sich zu einer Oberfläche der ersten Aluminium-Verbindungsschicht erstreckt. Eine zweite Aluminium-Verbindungsschicht (7) ist auf der Isolierschicht (5) gebildet und elektrisch mit der Oberflächenschicht (312) der ersten Aluminium-Verbindungsschicht durch das Kontaktloch (6) verbunden. Die zweite Aluminium-Verbindungsschicht (7) enthält eine Titanschicht (101), eine Titannitrid-Schicht (102) und eine Aluminium-Legierungsschicht (103). Die Titanschicht ist auf der Isolierschicht (5) so gebildet, daß sie im Kontaktloch (6) in Kontakt mit der Oberfläche der ersten Aluminium-Verbindungsschicht (4) steht. Die Titannitrid-Schicht ist auf der Titanschicht, die Aluminium-Legierungsschicht auf der Titannitrid-Schicht gebildet. Durch die Anordnung wird der elektrische Kontaktwiderstand zwischen der ersten und der ...



DE 42 07 916 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Verbindungsstruktur für eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung und ein Verfahren zur Herstellung derselben und im besonderen einen Verbindungsaufbau für eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung, bei dem mehrschichtige Aluminium-Verbindungsschichten miteinander durch ein Verbindungsloch verbunden sind, und ein Herstellungsverfahren für diesen.

Allgemein weist eine Halbleitereinrichtung ein Halbleitersubstrat und darauf gebildete Elemente, wie etwa Transistoren, auf. Verschiedene Verbindungsschichten sind auf dem Halbleitersubstrat zum elektrischen Verbinden dieser Elemente miteinander und mit einer externen Schaltung bzw. externen Schaltungen gebildet. Diese Verbindungsschichten werden aus Polysilizium-Schichten, Metallschichten mit hohem Schmelzpunkt, Metallsilizid-Schichten mit hohem Schmelzpunkt, Aluminium-Schichten oder Aluminium-Legierungsschichten gebildet. In den letzten Jahren wurde bei den integrierten Halbleiterschaltungseinrichtungen, die hochintegriert sind, für einen Betrieb mit hoher Geschwindigkeit eine Verringerung des Verbindungsschicht-Widerstands erforderlich. Daher erfordern integrierte Halbleiterschaltungseinrichtungen im wesentlichen Aluminium-Mehrschichtverbindungsstrukturen, die aus Aluminium-Schichten oder Aluminium-Legierungsschichten mit kleinem Widerstand gebildet sind.

Fig. 14 ist eine teilweise Querschnittsdarstellung, die ein Beispiel für einen Aluminium-Mehrschicht-Verbindungsaufbau in einer herkömmlichen integrierten Halbleiterschaltungseinrichtung zeigt. In der Abbildung zeigt ein Halbleitersubstrat 1 DRAM-Zellen (dynamische Speicherzellen mit wahlfreiem Zugriff) 2, die in einem gestapelten Zellaufbau gebildet sind. Eine Basis-Isolierschicht 3 ist auf den DRAM-Zellen 2 gebildet. Erste Aluminium-Verbindungsschichten 4 sind auf der Basis-Isolierschicht 3 mit einem vorbestimmten Zwischenraum zueinander gebildet. Die ersten Aluminium-Verbindungsschichten 4 sind mit einem Zwischenschicht-Isolierfilm 5, der mit Verbindungslöchern 6 (auch als "via-holes" oder Durchgangslöcher bezeichnet) versehen ist, bedeckt. Zweite Aluminium-Verbindungsschichten 7 sind auf dem Zwischenschicht-Isolierfilm 5 gebildet und durch die Verbindungslöcher 6 mit den ersten Aluminium-Verbindungsschichten 4 verbunden. Eine Schutzisolierschicht 8 ist so gebildet, daß sie die DRAM-Zelle 2, die ersten Aluminium-Verbindungsschichten 4 und die zweiten Aluminium-Verbindungsschichten 7 bedeckt, um diese gegen Feuchtigkeit und andere äußere Einwirkungen zu schützen.

Bei dem in Fig. 14 gezeigten herkömmlichen Aluminium-Mehrschicht-Verbindungsaufbau hängen die Ausbeute und Zuverlässigkeit der Halbleitereinrichtungen technisch von der Stabilität des Verbindungsteils (im folgenden als "via-hole"-Teil bezeichnet) zwischen der ersten Aluminium-Verbindungsschicht und der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht ab. Im folgenden wird ein Herstellungsverfahren eines herkömmlichen Aluminium-Mehrschicht-Verbindungsaufbaus nach Fig. 14 insbesondere unter dem Blickwinkel der Bildung des "via-hole"-Teils beschrieben. Der Mehrschicht-Verbindungsaufbau wird im allgemeinen durch eine Kombination von Polysilizium-Verdrahtungen bzw. -Leitungen, Metalleitungen mit hohem Schmelzpunkt, Silizid-Verbindungsschichten mit hohem Schmelzpunkt und Aluminiumleitungen gebildet. Die folgende Diskussion wird

jedoch bezüglich einer Aluminium-Zweischichtstruktur geführt, bei der beide Verbindungsschichten, sowohl die erste als auch die zweite Schicht, Aluminium-Verbindungsschichten sind.

Die Fig. 15 bis 21 sind teilweise Querschnittsdarstellungen, die entsprechend den Verfahrensschritten ein Herstellungsverfahren für den Aluminium-Zweischicht-Verbindungsaufbau in einer herkömmlichen integrierten Halbleiterschaltungseinrichtung zeigen.

Wie Fig. 15 zeigt, ist die DRAM-Zelle 2 auf der Oberfläche des Silizium-Halbleitersubstrates 1 gebildet. Die DRAM-Zelle 2 ist aus einer Elementtrenn-Oxidschicht 301, einer Transfer-Gate-Elektrode 302, einer Störstellendiffusionsschicht 303, einer Wortleitung 304, einem Speicherknoten 305, einer Kondensator-Isolierschicht 306, einer Zellplatte 307 und einer Isolierschicht 309 gebildet.

Wie Fig. 16 zeigt, ist die Basis-Isolierschicht 3 auf der gesamten Oberfläche des Silizium-Halbleitersubstrates 1, auf dem die DRAM-Zelle 2 gebildet worden ist, gebildet. Dann werden fotolithografische und Ätztechniken zur Bildung eines Kontaktloches 308 in einer vorbestimmten Lage in der Basis-Isolierschicht angewendet. Die erste Aluminium-Verbindungsschicht 4 ist als Bitleitung gebildet und durch das Kontaktloch 308 elektrisch mit der Störstellendiffusionsschicht 303 kontaktiert.

In jüngster Zeit wurde bei integrierten Halbleiterschaltungseinrichtungen, bei denen die Elementgröße auf eine Größenordnung von unter 1 µm verringert wurde, eine Verbindungsschicht verwendet, bei der eine Barrieremetallschicht 310, z. B. aus Titanitrid (TiN) oder Titan-Wolfram (TiW) und eine Aluminium-Legierungsschicht 311 aus Al-Si-Cu o. ä. kombiniert sind. Die Aluminium-Verbindungsschicht mit einem solchen Aufbau wird aus folgenden Gründen verwendet:

1) Wenn das Aluminium in direktem Kontakt mit dem Siliziumsubstrat (der Störstellendifusionsschicht) im Kontaktabschnitt steht, wird lokal eine anormale Reaktion (d. h. die Bildung von Legierungsspitzen) bewirkt. Damit wird eine Reaktionsschicht erzeugt, die ein Gebiet der Störstellendifusionsschicht unterbricht und sich hinab in das Siliziumsubstrat erstreckt, was zu einer Verbindungs-Leckstelle bzw. -Unterbrechung an der Störstellendifusionsschicht führt. Um dies zu verhindern, wird die Barrieremetallschicht in direktem Kontakt mit dem Siliziumsubstrat (der Störstellendifusionsschicht) gebildet.

2) Silizium in der Aluminium-Legierungsschicht wird infolge von festphasenepitaktischem Wachstum im Kontaktabschnitt abgeschieden, was zu einem mangelhaften Kontakt führt. Um dies zu verhindern, wird die Barrieremetallschicht unter der Aluminium-Legierungsschicht gebildet.

3) Obere Schichten, wie ein Zwischenschichtisolierfilm und eine Schutzisolierschicht, werden über der Aluminium-Verbindungsschicht gebildet. Die Schichtspannung dieser oberen Isolierschichten kann zu Rissen bzw. Brüchen in den Aluminium-Verbindungsschichten führen. Um die Widerstandsfähigkeit gegen diese Erscheinung der Spannungs migration zu erhöhen, wird die Barrieremetallschicht unter der Aluminium-Legierungsschicht gebildet.

Eine Schicht, die die erste Aluminium-Verbindungsschicht 4 bildet, wird gewöhnlich durch Abscheidung

mittels eines Sputter-Verfahrens und nachfolgendes Strukturieren unter Nutzung von Fotolithographie und Ätzen gebildet.

Strukturen, bei denen die erste Aluminium-Verbindungsschicht durch eine gestapelte Schichtstruktur aus einer Titanschicht, einer Titan-Nitridschicht und einer aluminiumhaltigen Schicht gebildet wird, sind in den japanischen Patentoffenlegungsschriften Nr. 64-59 937 (1989) und 61-90 445 (1986) beschrieben.

Wie Fig. 17 zeigt, ist der Zwischenschichtisolierfilm 5 auf der gesamten Oberfläche der ersten Aluminium-Verbindungsschicht 4 gebildet. Dieser Zwischenschichtisolierfilm 5 ist aus einer Kombination einer Siliziumoxidschicht 321, die z. B. durch CVD (chemische Gasphasenabscheidung) gebildet wird, mit einer aufgetragenen anorganischen Isolierschicht 322 und einer durch CVD gebildeten Siliziumoxidschicht 323 gebildet.

Die Siliziumoxidschicht 321 wird durch CVD unter Anwendung von Wärme und eines Plasmas bei einer Bildungstemperatur von 300 bis 450° C unter Verwendung von einerseits Silan(SiH_4)-Gas und andererseits Sauerstoff(O_2)-Gas oder Distickstoffmonoxid(N_2O)-Gas gebildet.

In jüngerer Zeit wird eine Siliziumoxidschicht aus einem organischen Silan enthaltenden Material wie TEOS (Tetraethyl-Orthosilikat) gebildet, wobei diese Schicht sich durch eine gute Stufenbedeckung auszeichnet.

Die zur Einebnung gebildete anorganische Isolierschicht 322 enthält im allgemeinen Silanol($\text{Si}(\text{OH})_4$) o. ä. als Haupt-Bestandteil. Nach dem Aufbringen des Silanols o. ä. enthaltenden Materials als Haupt-Bestandteil mittels "spin-coating" (Rotationsaufschleudern) wird bei einer Temperatur von 400–450° C ein Backen ausgeführt, um die Schicht in eine Siliziumoxidschicht zu überführen, wodurch die Oberfläche der Siliziumoxidschicht 321, die durch CVD gebildet wurde, eingeebnet wird. Da diese anorganisch aufgetragene Isolierschicht 322 hochgradig hygroskopisch ist, kann sie zu einer nachteiligen Gasemission führen, wenn die Isolierschicht 322 im Randbereich bzw. der Seitenwandung eines "via-hole"-Teils freiliegt. Daher wird diese anorganisch aufgetragene Isolierschicht 322 einem Rückätz-Bearbeitungsschritt mittels Trockenätzen durch ein fluorhaltiges Gas oder Argongas unterzogen, um das Freiliegen der Oberfläche der anorganisch aufgetragenen Isolierschicht 322 an der Seitenwand des "via-hole"-Teils zu verhindern.

Auf der anorganisch aufgetragenen Isolierschicht 322 wird auf eine ähnliche Weise wie bei der Bildung der Siliziumoxidschicht 321 eine Siliziumoxidschicht 322 gebildet.

Wie Fig. 18 zeigt, wird das Verbindungsloch 6 durch Fotolithographie und Ätzen gebildet, um ein vorbestimmtes Oberflächengebiet der ersten Aluminium-Verbindungsschicht 4 freizulegen. Dieser Schritt wird wie folgt ausgeführt:

Ein Fotoresist 324 wird so aufgebracht, daß er eine Fläche außerhalb des Teils, in dem das Verbindungsloch 6 durch Fotolithographie gebildet wird, bedeckt. Dann wird der Zwischenschichtisolierfilm 5 durch ein "Taper"-Ätzverfahren selektiv entfernt, um das Verbindungsloch 6 zu öffnen. Das "Taper"-Ätzverfahren ist eine Kombination aus einem Naßätzen mittels einer fluorhaltigen Lösung und einem reaktiven Ionenätzen unter Nutzung einer Mischung der Gase CHF_3 und O_2 als Haupt-Bestandteil.

Der Fotoresist 324 ebenso wie etwa während des Ätzens erzeugte Reaktionsprodukte werden durch ein

Sauerstoff(O_2)-Plasma und eine naßchemische Bearbeitung nach dem Ätzen entfernt.

Wie Fig. 19 zeigt, wird beim Schritt des Bildens des Verbindungsloches 6 die Oberfläche der ersten Aluminium-Verbindungsschicht 4 einem Plasma aus einem fluorhaltigen Gas wie CHF_3 und/oder Sauerstoffgas ausgesetzt, so daß eine defekthaltige bzw. in ihren Eigenschaften verschlechterte Schicht 201 aus Aluminium, die Fluorid und Oxid enthält, mit einer Dicke von etwa 100 Å auf der Oberfläche der ersten Aluminium-Verbindungsschicht 4 im Verbindungsloch 6 gebildet wird. Daher wird, um eine isolierende Schicht, d. h. die dünne defekthaltige bzw. in ihren Eigenschaften verschlechterte Aluminiumschicht zu entfernen und einen stabilen Kontaktwiderstand zu erhalten, vor der Bildung der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht ein Sputter-Ätzen unter Nutzung von Argon (Ar^+)-Ionen 202 ausgeführt.

Dann wird, wie in Fig. 20 gezeigt, die zweite Aluminium-Verbindungsschicht 7 kontinuierlich unter Nutzung des Sputter-Verfahrens im Vakuum abgeschieden. Diese zweite Aluminium-Verbindungsschicht 7 ist eine Schicht aus einer Aluminiumlegierung wie etwa Al-Si, Al-Si-Cu oder Al-Cu. Diese Schicht wird durch Strukturieren unter Anwendung von Fotolithographie und Ätzen auf eine ähnliche Weise wie die erste Aluminium-Verbindungsschicht gebildet.

Nach der Bildung der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht 2 wird bei einer Temperatur von 400–450° C eine Wärmebehandlung ausgeführt, um die erste und die zweite Aluminium-Verbindungsschicht 4 und 7 im Verbindungsloch 6 in elektrischen Kontakt miteinander zu bringen.

Schließlich wird, wie in Fig. 21 gezeigt, die Schutzisolierschicht 8, wie etwa eine Siliziumoxid- oder Siliziumnitrid-Schicht, auf der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht 7 mittels CVD abgeschieden, um die Halbleiterelemente und Verbindungsschichten gegen Feuchtigkeit und andere Umgebungseinflüsse zu schützen.

Die Aluminium-Mehrschicht-Verbindungsstruktur herkömmlicher Art zeigt die folgenden Nachteile. Infolge der Miniaturisierung der Verdrahtung wurde der Durchmesser des Verbindungsloches 6 verkleinert.

Wenn der Durchmesser des Verbindungsloches 6 auf Submikrometerniveau ist, können sich Probleme bezüglich der Stabilität und Zuverlässigkeit der elektrischen Verbindung im Kontaktloch 6 ergeben.

Herkömmlicherweise wird, wie oben beschrieben, vor der Bildung der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht 7 ein Sputter-Ätzen mittels Argon-Ionen ausgeführt. Bei diesem Ätzen entfernen, wie in Fig. 22 gezeigt, Argon-Ionen 202 die in ihren Eigenschaften verschlechterte Schicht 201 (die Schicht, die Fluoride und Oxide des Aluminiums enthält), die auf der Oberfläche der ersten Aluminium-Verbindungsschicht 4 im Verbindungsloch 6 gebildet ist. Bei der herkömmlichen Struktur, bei der das Kontaktloch 6 ein relativ kleines Aspekt- bzw. Öffnungsverhältnis (B/A) < 1 (eins) hat, wobei A der Durchmesser des Verbindungsloches und B die Schichtdicke (1 µm) des Zwischenschichtisolierfilms ist, werden die Oxid- und Fluorid-Partikel 203 des Aluminiums, die durch Argon-Ionen 202 gesputtert werden, hinreichend nach außerhalb des Verbindungsloches 6 gestreut bzw. verteilt, wie in Fig. 22 gezeigt. Daher wird durch diesen Schritt die in ihren Eigenschaften verschlechterte Schicht 201 aus Aluminium entfernt, und damit kann die Oberfläche der ersten Aluminium-Verbindungsschicht 4 im Verbindungsloch 6 gereinigt wer-

den.

Wenn jedoch das Verbindungsloch 6 einen Durchmesser auf Submikrometerniveau hat und das Öffnungsverhältnis (B/A) über 1 (eins) liegt, wie in Fig. 23 gezeigt, wird die Streuung bzw. Verteilung der durch die Argon-Ionen 202 gesputterten Oxid- und Fluorid-Partikel 203 des Aluminiums teilweise durch die Randwandung des Verbindungsloches 6 aufgehalten, so daß diese nicht hinreichend nach außerhalb des Verbindungsloches 6 verteilt werden können. Daher haften einige der Partikel 204 wieder innerhalb des Kontaktloches 6.

Im Ergebnis dessen verbleiben, wenn als nächster Schritt eine kontinuierliche Abscheidung der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht 7 im Vakuum ausgeführt wird, die Partikeln 204 aus Aluminium-Oxid und -Fluorid, die während des Sputter-Ätzens auf der Grenzfläche 205 zwischen der ersten und der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht 4 und 7 im Verbindungsloch 6 anhafteten, dort. Infolgedessen kann bei der Wärmebehandlung bei etwa 400–450° C nach der Bildung der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht an der Grenzfläche 205 zwischen der ersten und der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht keine hinreichende Vermischung (Grenzflächenreaktion) stattfinden. Infolgedessen kann der Kontaktwiderstand (als "via-hole"-Widerstand bezeichnet) im Verbindungsloch 6 ansteigen oder eine Fehlstelle in der Verbindung zwischen der ersten und zweiten Aluminium-Verbindungsschicht verursacht werden.

Weiterhin kann auch dann, wenn der anfängliche "via-hole"-Widerstand im Ergebnis der oben beschriebenen Wärmebehandlung bei 400–450° C einen korrekten Wert aufweist, die Mischung an der Grenzfläche 205 zwischen der ersten und der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht nicht hinreichend zustande gekommen sein. Damit ist die Zuverlässigkeit im Verbindungsloch 6, etwa die Widerstandsfähigkeit gegen Elektromigration und Spannungsmigration, verringert. Diese Probleme sind und werden weiter besonders signifikant bei integrierten Halbleiterschaltungseinrichtungen, die auf dem 0,5-µm-Niveau miniaturisiert sind und bei künftigen Schaltungen, die auf dem Submikrometer-Niveau miniaturisiert sind und damit ein weiter vergrößertes Aspekt- bzw. Öffnungsverhältnis (B/A) haben werden. Die Betrachtungen gelten auch für Kontaktlöcher für untere Verdrahtungs- bzw. Leitungsschichten, die nicht aus Aluminium bestehen, sowie das Silizium-Halbleiter-substrat, z. B. das Kontaktloch 308 in Fig. 16. Eine natürliche Oxidschicht, eine Schicht mit verschlechterten Eigenschaften o. ä., die auf der Oberfläche des Kontaktloches 308 gebildet sind, können jedoch selektiv durch einen Reinigungsschritt mit einer geeigneten Säure oder Base, wie etwa HCl, entfernt werden.

Bei dem oben beschriebenen "via-hole"-Teil ist jedoch die untere Verdrahtungsschicht durch eine Aluminium-Verbindungsschicht mit geringer Widerstandsfähigkeit gegenüber einer alkalischen oder sauren Lösung gebildet. Es ist daher unmöglich, einen solchen Reinigungsschritt mit einer starken Säure oder Base zur Entfernung der in ihren Eigenschaften verschlechterten Schicht hier anzuwenden.

Um das oben beschriebene Problem, das mit den während des Sputter-Schrittes wiederanhaftenden Partikeln zusammenhängt, zu lösen, ist es bekannt, eine Oberflächenschicht 312, die eine Metallschicht mit hohem Schmelzpunkt (z. B. eine Wolframschicht oder Titan-Wolfram), eine Metallverbindungsschicht mit hohem Schmelzpunkt (z. B. eine Titanitrid-Schicht), eine

Metallsilizidschicht mit hohem Schmelzpunkt (z. B. eine Molybdänsilizidschicht oder Wolframsilizid), eine amorphe Siliziumschicht usw. enthält, auszubilden. Durch diesen Aufbau kann das Ausmaß des notwendigen Sputter-Ätzens verringert werden, da damit die Dicke der während des Prozesses der Herstellung des Kontaktloches gebildeten Schicht 313 mit verschlechterten Eigenschaften verringert wird. Damit können die Anzahl der während des Sputter-Ätzens wiederanhaftenden Partikel verringert und die oben erwähnten Nachteile weitgehend beseitigt werden. Die Probleme können jedoch nicht völlig gelöst werden, da immer noch derartige Partikel vorkommen.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, einen Verbindungsaufbau für eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung und ein Verfahren zur Herstellung eines solchen bereitzustellen, bei dem die Grenzflächeneigenschaften im Verbindungsabschnitt zwischen einer unteren Aluminium-Verbindungsschicht und einer oberen Aluminium-Verbindungsschicht verbessert sind und insbesondere der "via-hole"-Widerstand im Verbindungsabschnitt verringert und die Widerstandsfähigkeit des Verbindungsabschnittes gegenüber Elektromigration und Spannungsmigration erhöht ist, womit letztlich Qualität und Ausbeute der hergestellten integrierten Halbleiterschaltungseinrichtungen erhöht werden können.

Dazu soll insbesondere die Vermischung (das "mixing") an der Grenzfläche zwischen einer unteren und einer oberen Aluminium-Verbindungsschicht gefördert werden.

Eine Verbindungsstruktur für eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung entsprechend der Erfindung enthält eine erste Aluminium-Verbindungsschicht, eine Isolierschicht und eine zweite Aluminium-Verbindungsschicht. Die erste Aluminium-Verbindungsschicht ist auf der Hauptoberfläche des Halbleitersubstrates gebildet. Eine Oberflächenschicht, die mindestens entweder ein Metall mit hohem Schmelzpunkt, eine Metallverbindung mit hohem Schmelzpunkt, ein Metallsilizid mit hohem Schmelzpunkt oder amorphes Silizium enthält, ist auf der ersten Aluminium-Verbindungsschicht gebildet. Eine Isolierschicht ist auf der ersten Aluminium-Verbindungsschicht gebildet und weist ein sich von der Oberfläche der Isolierschicht zur ersten Aluminium-Verbindungsschicht hin erstreckendes Kontaktloch auf. Eine zweite Aluminium-Verbindungsschicht ist auf der Isolierschicht gebildet und durch das Kontaktloch mit der ersten Aluminium-Verbindungsschicht elektrisch verbunden. Die zweite Aluminium-Verbindungsschicht enthält eine Titanschicht, eine Titan-Verbindungsschicht und eine aluminiumhaltige Schicht. Die Titanschicht ist auf der Isolierschicht gebildet und erstreckt sich durch das Durchgangs- bzw. Kontaktloch. Die Titan-Verbindungsschicht ist auf der Titanschicht gebildet. Die aluminiumhaltige Schicht ist auf der Titan-Verbindungsschicht gebildet.

Beim Verbindungsaufbau gemäß der Erfindung weist die obere, zweite Aluminium-Verbindungsschicht, die in einem Gebiet im Durchgangsloch im Kontakt mit der auf der unteren, ersten Aluminium-Verbindungsschicht gebildeten Oberflächenschicht steht, eine Grundschicht auf, bei der eine Stapelstruktur aus einer Titanschicht und einer Titan-Verbindungsschicht eingesetzt ist. Die Oberflächenschicht enthält mindestens einen Bestandteil aus der Gruppe hochschmelzendes Metall, hochschmelzende Metallverbindung, hochschmelzendes Metallsilizid und amorphes Silizium. Die Oberfläche

der Oberflächenschicht steht in Kontakt mit der Titanschicht. Diese Titanschicht hat eine starke Bindungskraft gegenüber Fluor und Sauerstoff. Daher bewirkt sie dann, wenn Oxid- und Fluorid-Partikel der Metalle mit hohem Schmelzpunkt auf der Oberfläche der Oberflächenschicht im Gebiet des Durchgangsloches infolge ihres Anhaftens während des Sputter-Ätzens verbleiben, die folgenden Effekte:

- 1) Die Titanschicht "fängt" die Oxid- und Fluorid-partikel des Aluminiums als Oxid bzw. Fluorid des Titans "ein" und zersetzt sie.
- 2) Die Titanschicht reagiert mit der Oberflächenschicht und verbessert dadurch den Kontakt zwischen der Titanschicht und der Oberflächenschicht.

Gleichzeitig verhindert die auf der Titanschicht gebildete Titan-Verbindungsschicht eine Reaktion der Titanschicht, die in Kontakt mit der Oberflächenschicht steht, mit der oberen aluminiumhaltigen Schicht und dient dazu, eine Reaktion der Titanschicht mit der Oberflächenschicht zu beschleunigen.

Das heißt, wenn die Titan-Verbindungsschicht nicht gebildet wäre, würde keine Schicht zur Verhinderung einer Reaktion der Titanschicht mit der oberen aluminiumhaltigen Schicht an deren Grenzfläche existieren, und damit würde die Titanschicht bereitwillig mit der oberen aluminiumhaltigen Schicht bei einer relativ niedrigen Temperatur von 200–300° C reagieren und eine intermetallische Verbindung ($TiAl_3$) bilden, bevor es zu einer Reaktion mit der Oberflächenschicht kommt. In diesem Falle würde die Titanschicht das Oxid und Fluorid des hochschmelzenden Metalls auf der Oberfläche der Oberflächenschicht nicht hinreichend zersetzen. Des weiteren könnte die Titanschicht nicht genügend mit der Oberflächenschicht reagieren und wäre damit nicht in der Lage, einen festen Kontakt herzustellen.

Der Aufbau gemäß der Erfindung schließt jedoch eine Titan-Verbindungsschicht, die eine geringere Reaktivität gegenüber dem Aluminium aufweist, auf der Titanschicht zur Unterdrückung der Reaktion der Titanschicht mit der oberen aluminiumhaltigen Schicht ein. Damit werden bei der Wärmebehandlung bei 300–450° C nach der Bildung der oberen aluminiumhaltigen Schicht die auf der Oberfläche der Oberflächenschicht im Durchgangsloch verbliebenen Oxide und Fluoride des hochschmelzenden Metalls, die durch das Wiederanhaften beim Sputter-Ätzen erzeugt werden, als Oxide und Fluoride des Titans "eingefangen" und zersetzt. Ferner reagieren die Titanschicht und die Oberflächenschicht miteinander und bewirken einen festen Kontakt an der Grenzfläche zwischen der Titanschicht und der Oberflächenschicht.

Auf diese Weise wird der elektrische Kontaktwiderstand ("via-hole"-Widerstand) auch für Durchgangslöcher mit einem Durchmesser auf dem Submikrometerniveau stabilisiert. Ferner wird die Zuverlässigkeit, insbesondere die Elektromigrations- und Spannungsmigrations-Beständigkeit im Abschnitt des Durchgangsloches verbessert.

Entsprechend dem Verfahren zur Herstellung einer Verbindungsstruktur für eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung nach der Erfindung wird auf der Hauptoberfläche des Halbleitersubstrates eine erste Aluminium-Verbindungsschicht gebildet. Eine Oberflächenschicht, die mindestens einen Bestandteil aus der Gruppe hochschmelzendes Metall, hochschmelzende Metallverbindung, hochschmelzendes Metallsilizid oder

amorphes Silizium enthält, wird auf der ersten Aluminium-Verbindungsschicht gebildet. Eine Isolierschicht wird auf der Oberflächenschicht gebildet. Ein mindestens die Oberfläche der Oberflächenschicht freilegendes Durchgangsloch wird durch selektives Entfernen der Isolierschicht gebildet. Eine Titanschicht wird auf der Isolierschicht gebildet, so daß sie im Durchgangsloch in Kontakt der Oberfläche der Oberflächenschicht steht. Eine Titan-Verbindungsschicht wird auf der Titanschicht gebildet. Eine aluminiumhaltige Schicht wird auf der Titan-Verbindungsschicht gebildet.

Weitere Merkmale und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus der Erläuterung von Ausführungsbeispielen anhand der Figuren. Von den Figuren zeigt

Fig. 1 eine teilweise Querschnittsdarstellung einer Verbindungsstruktur einer integrierten Halbleiterschaltungseinrichtung nach einer ersten Ausführungsform,

Fig. 2–8 Querschnittsdarstellungen, die in der Reihenfolge der Herstellungsschritte die in Fig. 1 gezeigte Verbindungsstruktur darstellen,

Fig. 9 u. 10 vergrößerte Ausschnittsdarstellungen (im Querschnitt), die die Verbindungsstruktur einer ersten Aluminium-Verbindungsschicht und einer zweiten Aluminium-Verbindungsschicht zur Darstellung der Vorgänge an deren Grenzfläche zeigen,

Fig. 11 u. 12 vergrößerte Ausschnittsdarstellungen (im Querschnitt), die Verbindungsstrukturen zur Verdeutlichung der Existenz eines optimalen Wertes der Titanschicht-Dicke in einer erfindungsgemäßen Verbindungsstruktur zeigen,

Fig. 13 eine teilweise Querschnittsdarstellung des Verbindungsaufbaus einer integrierten Halbleiterschaltungseinrichtung nach einer anderen Ausführungsform,

Fig. 14–21 teilweise Querschnittsdarstellungen, die in der Reihenfolge der Herstellungsschritte eine herkömmliche Verbindungsstruktur nach Fig. 14 zeigen,

Fig. 22 u. 23 teilweise Querschnittsdarstellungen zur Verdeutlichung des Sputter-Ätzens während eines Bildungsschrittes einer herkömmlichen Verbindungsstruktur,

Fig. 24 eine vergrößerte Ausschnittsdarstellung (im Querschnitt), die eine herkömmliche Verbindungsstruktur zeigt, und

Fig. 25 eine teilweise Querschnittsdarstellung, die den Zustand einer in ihren Eigenschaften verschlechterten Schicht zeigt, wenn eine Wolframschicht auf der Oberfläche einer ersten Aluminium-Verbindungsschicht gebildet ist.

Wie Fig. 1 zeigt, trägt ein Silizium-Halbleitersubstrat 1 eine darauf gebildete DRAM-Zelle 2. Eine Basis-Isolierschicht 3 ist auf dieser DRAM-Zelle 2 gebildet. Erste Aluminium-Verbindungsschichten bzw. -streifen 4, die voneinander getrennt sind, sind auf der Basis-Isolierschicht 3 ausgebildet. Eine Wolframschicht 312 ist auf der ersten Aluminium-Verbindungsschicht gebildet. Ein Zwischenschicht-Isolierfilm 5 ist so gebildet, daß er die Wolframschicht 312 bedeckt, und mit Verbindungslöchern 6, die sich zur Oberfläche der Wolframschicht 312 erstrecken, versehen. Zweite Aluminium-Verbindungsschichten bzw. -streifen 100 sind auf dem Zwischenschicht-Isolierfilm 5 in solcher Weise gebildet, daß die Schichten (Streifen) 100 in den oben erwähnten Verbindungslöchern 6 mit der ersten Aluminium-Verbindungsschicht 4 verbunden sind. Die zweiten Aluminium-Verbindungsschichten 100 sind aus Titanschichten 101, Titanitrid-Schichten 102 und Aluminium- bzw. Aluminium-Legierungsschichten 103 gebildet. Jede Titanschicht

101 ist als Basisschicht der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht 100 ausgebildet und steht in Kontakt mit der Oberfläche der Wolframschicht 312. Die Titanitrid-Schicht 102 ist als Basisschicht der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht 100 gebildet und auf der Titanschicht 101 gelegen. Die Aluminium- oder Aluminium-Legierungsschicht 103 ist auf der Titanitrid-Schicht 102 gebildet. Der auf diese Weise gebildete Verbindungsaufbau ist gegen äußere Einflüsse durch eine darauf insgesamt gebildete Schutzisolierschicht 8 geschützt. Eine intermetallische Verbindungsschicht (TiAl_3) 206 ist an der Grenzfläche zwischen der Titanschicht 101 und der Wolframschicht 312 durch eine Reaktion zwischen diesen gebildet.

Die Ausführungsform der Verbindungsstruktur nach Fig. 1 wird im folgenden insbesondere unter dem Gesichtspunkt des Verfahrens zur Bildung des Verbindungsteils ("via-hole"-Teils) der unteren, ersten Aluminium-Verbindungsschicht 4 und der oberen, zweiten Aluminium-Verbindungsschicht 100 diskutiert.

Die Schritte zur Bildung des Aufbaus nach Fig. 2 bei der Erfindung sind dieselben, wie sie unter Bezugnahme auf die Fig. 15–18 für eine herkömmliche Einrichtung beschrieben wurden, mit der Ausnahme, daß nach der Bildung der Aluminium-Legierungsschicht 311 darauf durch ein Sputter-Verfahren die Wolframschicht 312 gebildet wird. Die bereits bekannten Schritte werden im folgenden nicht nochmals beschrieben.

Wie Fig. 2 zeigt, wurde die Oberfläche der Wolframschicht 312 im Verbindungsloch 6 einem Plasma aus Sauerstoffgas und einem fluorhaltigen Gas wie CHF_3 während des Schrittes der Bildung des Verbindungsloches 6 ausgesetzt, so daß eine Schicht 313 mit verschlechterten Eigenschaften (eine Aluminiumfluorid und/oder -oxid enthaltende Schicht) mit einer Dicke von etwa 50–100 Å auf der Oberfläche des Wolframs gebildet worden ist. Um diese dünne Schicht 313 mit verschlechterten Eigenschaften zu entfernen und um einen stabilen "via-hole"-Widerstand zu erreichen, wird ein Sputter-Ätzen mittels Argon-Ionen 202 ausgeführt.

Wie Fig. 3 zeigt, verursacht, wenn das Verbindungsloch 6 ein Aspekt- bzw. Öffnungsverhältnis (B/A) über 1 aufweist, also auf Submikrometerniveau ist, das Sputter-Ätzen mittels der Argon-Ionen 202 ein Anhaften von Oxid- und/oder Fluoridpartikeln des Wolframs, die durch die Argon-Ionen wie oben beschrieben gesputtert werden. Damit gibt es verbleibende Partikel 314 des Oxids und Fluorids des Wolframs auf der Oberfläche der Wolframschicht 312 im Verbindungsloch 6.

Wie in Fig. 4 gezeigt, wird, nachdem der größte Teil der Schicht 319 mit verschlechterten Eigenschaften aus Wolfram durch das Sputter-Ätzen entfernt wurde, kontinuierlich auf der gesamten Oberfläche durch ein Sputter-Verfahren im Vakuum die Titanschicht 101 mit einer Dicke von etwa 50–150 Å aufgebracht, um die wenigen verbliebenen Partikel 314 der Wolframschicht mit verschlechterten Eigenschaften zu zersetzen.

Dann wird, wie in Fig. 5 gezeigt, die Titanitrid-Schicht 102 mit einer Dicke von etwa 500–1000 Å auf der Titanschicht 101 abgeschieden. Als Verfahren für diese Abscheidung wird üblicherweise ein reaktives Sputter-Verfahren angewendet, bei dem das Sputtern in einem Umgebungsgas aus $\text{Ar} + \text{N}_2$ unter Verwendung eines Ti-Targets bewirkt wird. Diese Titanitrid-Schicht 102 dient zur Unterdrückung einer Reaktion der Titanschicht 101, die in Kontakt mit der Wolframschicht 312 steht, mit der oberen, aluminiumhaltigen Schicht im Durchgangsloch-Abschnitt. Zu diesem Zweck hat die

verwendete Titanitrid-Schicht einen geringen spezifischen Widerstand von etwa 250–400 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$, um die Reaktionsbereitschaft mit der oberen aluminiumhaltigen Schicht zu verringern und hinreichend ein Ansteigen des "via-hole"-Widerstands zu unterdrücken.

Wenn die Titanitrid-Schicht im Kontaktteil mit dem Siliziumsubstrat als Barrieremetallschicht verwendet werden sollte, d. h. um als Barriere gegenüber dem Silizium und Aluminium zu dienen, wäre eine Schicht mit einem hohen spezifischen Widerstand von etwa 400–200 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ erforderlich. Eine solche Verwendung der Titanitrid-Schicht im "via-hole"-Teil hätte zur Folge, daß der Widerstand im Kontaktabschnitt ("via-hole"-Widerstand) mehrere Male so hoch wäre wie bei einer herkömmlichen Struktur. Gemäß der vorliegenden Erfindung ist die im "via-hole"-Teil verwendete Titanitrid-Schicht 102, wie oben beschrieben, zum Unterdrücken einer Reaktion der Titanschicht 101 und der oberen aluminiumhaltigen Schicht gebildet. Damit wird dieses Titanitrid 102 nicht benötigt, um als Barriere gegenüber dem Aluminium zu dienen. Dies ermöglicht die Verwendung einer Titanitrid-Schicht mit einem niedrigen spezifischen Widerstand von etwa 250–400 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$. Im Ergebnis dessen liegt das Anwachsen des "via-hole"-Widerstands unter 50% und damit in einem Bereich, in dem es praktisch keine Nachteile mit sich bringt.

Die Dicke der Titanitrid-Schicht 102 wird auf einen Wert von etwa 500–1000 Å festgelegt, um eine Reaktion der unteren Titanschicht 101 mit der oberen, aluminiumhaltigen Schicht zu unterdrücken und das Anwachsen des "via-hole"-Widerstands auf einem Niveau zu halten, was zu keinerlei praktischen Problemen führt.

Nach dem oben beschriebenen Schritt wird, wie in Fig. 6 gezeigt, eine oberste Schicht der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht 100 durch eine Aluminium-Legierungsschicht 103, etwa eine Al-Si-Cu-Schicht, die kontinuierlich durch ein Sputter-Verfahren abgeschieden wird, gebildet. Dann wird die Aluminium-Verbindungsschicht 100 aus einem Drei-Schicht-Aufbau, der aus der Titanschicht 101, der Titanitrid-Schicht 102 und der Aluminium-Legierungsschicht 103 gebildet ist, auf eine ähnliche Weise wie die erste Aluminium-Verbindungsschicht 4 unter Anwendung von Photolithographie und Ätzen gemustert.

Wie Fig. 7 zeigt, wird für eine Zeitdauer von etwa 15–60 Minuten bei einer Temperatur von 300–450° C eine Wärmebehandlung ausgeführt, um ein Mischen ("mixing") an der Grenzfläche zwischen der ersten und zweiten Aluminium-Verbindungsschicht 4 und 100 zu fördern. Dabei wirkt die Titanschicht 101 dahingehend, daß sie die verbliebenen Partikel 314 aus Oxiden und Fluoriden des Wolframs auf der Oberfläche der Wolframschicht 312 im Durchgangsloch bzw. "via-hole"-Abschnitt zersetzt. Weiterhin reagiert die Wolframschicht 312 mit der Titanschicht 101 und bildet eine intermetallische Verbindung 206.

Die Fig. 9 und 10 zeigen in vergrößerter Form eine Verbindungsstruktur der ersten und zweiten Aluminium-Verbindungsschicht 4 und 100 zur Darstellung des Misch- bzw. "mixing"-Vorgangs an deren Grenzfläche. Wie Fig. 9 zeigt, verbleiben infolge des Anhaftens von Oxid- und Fluoridpartikeln des Wolframs beim Sputter-Ätzen veränderte bzw. zersetzte Bestandteile 314 der Wolframschicht auf der Oberfläche der Wolframschicht 312, auch nach der Bildung der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht 100. Diese Partikel 314 behindern den Mischprozeß an der Grenzfläche 205 zwischen der er-

sten und der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht 4 und 100.

Deshalb wird, wie in Fig. 10 gezeigt, nach der Bildung der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht 100 die besagte Wärmebehandlung bei einer Temperatur von 300–450° C für 15–60 Minuten ausgeführt. Dabei werden die "Abfall"-partikel 314 des Wolframs als Fluoride und Oxide des Titans eingefangen und zersetzt. Dies wird durch die Tatsache ermöglicht, daß die Titanschicht 101 eine hohe Bindungskraft gegenüber Fluor und Sauerstoff aufweist, die Bestandteil der Wolfram-Reaktionsprodukte sind, und durch die Wärmebehandlung bei 300–450° C leicht Titanoxid und -fluorid gebildet werden. Weiterhin bewirkt diese Wärmebehandlung eine Reaktion der Wolframschicht 312 und der Titanschicht 101, die zur Bildung einer intermetallischen Verbindungsschicht 206 führt. Dadurch wird der Mischvorgang an der Grenzfläche 205 gefördert.

Schließlich wird, wie Fig. 8 zeigt, die Schutzisolationsschicht 8, etwa eine Siliziumoxid- oder Siliziumnitrid-Schicht, mittels CVD auf die zweiten Aluminium-Verbindungsschichten 100 abgeschieden, um die Halbleiterelemente und die auf dem Halbleitersubstrat gebildeten Verbindungsschichten gegen von außen eindringende Feuchtigkeit und andere Einflüsse zu schützen.

Die Dicke der bei der Verbindungsstruktur gemäß der Erfindung verwendeten Titanschicht 101 hat aus Gründen, die unten unter Bezugnahme auf die Fig. 11 und 12 erläutert werden, einen optimalen Wert.

Fig. 11 zeigt die Verbindungsstruktur der Titanschicht 101, die eine dem Optimalwert entsprechende Dicke aufweist. Wenn die Dicke der Titanschicht 101 übermäßig groß ist, wird eine übermäßig starke intermetallische Verbindungsschicht 206 gebildet, was zu dem in Fig. 12 gezeigten Zustand führt. Die Erzeugung der intermetallischen Verbindungsschicht 206 verringert das Volumen des Kontaktabschnitts in der ersten Aluminium-Verbindungsschicht 4 und der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht 100, was zu Spannungen an der Oberfläche 205 führt. Wenn die Abmessungen der erzeugten intermetallischen Verbindungsschicht 206 groß sind, steigt die Volumenabnahme an, was zur Erzeugung großer Spannungen an der Oberfläche 205 führt. Dies ist die Hauptursache dafür, daß die Ober- bzw. Grenzfläche 205 zwischen der ersten Aluminium-Verbindungsschicht 4 und der zweiten Aluminium-Verbindungsschicht 100 schwach und die mechanische Stabilität verringert ist.

Wenn die Dicke der Titanschicht 101 allzu klein ist, ist es unmöglich, eine hinreichende Zersetzung der Aluminiumoxid- und -fluoridpartikel und eine hinreichende Beförderung des Mischvorgangs an der Fläche 205 zu erreichen. Aus den genannten Gründen hat die Dicke der Titanschicht 101, die in der erfindungsgemäßen Verbindungsstruktur verwendet wird, eine obere und eine untere Grenze. Es wurde experimentell ermittelt, daß die wünschenswerte Dicke der Titanschicht 101 in einem Bereich von 50 Å bis 150 Å liegt.

Die oben beschriebene Ausführungsform wurde unter Bezugnahme auf den Fall beschrieben, daß die Titan-nitrid-Schicht 102 auf der Titanschicht 100 angeordnet ist, um die Reaktion der Titanschicht 101 und der Aluminium-Legierungsschicht 103, die die zweite Aluminium-Verbindungsschicht bilden, zu unterdrücken. Der gleiche oder ein ähnlicher Effekt kann auch durch andere Titan-Verbindungsschichten, wie eine Titanoxid-Schicht oder eine Titan-Stickoxidschicht, erreicht werden, die gleichermaßen zur Unterdrückung der genannten Re-

aktion dienen. Diese Schichten können, ähnlich wie bei der oben beschriebenen Ausführungsform, durch ein reaktives Sputter-Verfahren abgeschieden werden. Dabei wird in einer Gasatmosphäre aus Ar + O₂ für die Abscheidung der Titanoxid-Schicht oder in einer Gasatmosphäre aus Ar + O₂ + N₂ für die Abscheidung des Titan-Stickoxids das Sputtern unter Verwendung von Ti als Target ausgeführt, womit die gewünschte Titan-Verbindungsschicht abgeschieden werden kann.

Die oben beschriebene Ausführungsform zeigt die Bildung einer Wolframschicht 312 auf der Oberfläche der ersten Aluminium-Verbindungsschicht 4. Die gleichen Effekte können jedoch auch erreicht werden, wenn die auf der Oberfläche gebildete Schicht eine Schicht aus einem anderen hochschmelzenden Metall, wie etwa eine Titan-Wolfram (Ti-W)-Schicht, eine Metall-Verbindungsschicht mit hohem Schmelzpunkt, wie etwa eine Titanitrid (TiN)-Schicht, eine Metallsilizid-Schicht mit hohem Schmelzpunkt, wie etwa eine Molybdänsilizid (MoSi₂)- oder Wolframsilizid (WSi₂)-Schicht, oder eine amorphe Schicht ist.

Obgleich die oben beschriebene Ausführungsform eine zweischichtige Verbindungsstruktur aus Aluminium aufweist, können ähnliche Effekte auch erreicht werden, wenn die Erfindung auf eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung mit einer Aluminium-Mehrschicht-Verbindungsstruktur aus drei oder mehr Schichten angewendet wird.

Obgleich die beschriebene Ausführungsform unter Bezugnahme auf eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung mit auf der Oberfläche eines Halbleitersubstrates gebildeten DRAM-Zellen diskutiert wurde, können ähnliche Effekte auch erreicht werden, wenn die Erfindung auf eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung mit anderen Elementen angewandt wird.

Als Beispiel zeigt Fig. 13 eine weitere Ausführungsform, bei der eine Aluminium-Mehrschicht-Verbindungsstruktur entsprechend der Erfindung auf eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung mit SRAM-Zellen (statischen Speicherzellen mit wahlfreiem Zugriff) auf der Oberfläche des Halbleitersubstrates angewandt ist. Der Aufbau der integrierten Halbleiterschaltungseinrichtung mit SRAM-Zellen wird nicht im einzelnen diskutiert, sondern nur der grundsätzliche Aufbau erläutert.

Wie Fig. 13 zeigt, ist auf der Oberfläche des Silizium-Halbleitersubstrates eine SRAM-Zelle 410 mit einer Doppelwannen-CMOS (komplementären Metall-Oxid-Halbleiter)-Struktur gebildet. Das Silizium-Halbleitersubstrat 1 ist mit p-Wannengebieten 411 und dazu benachbarten n-Wannengebieten 412 versehen. Diese Wannengebiete 411 und 412 sind durch Elementtrennoxid-Schichten 413, die voneinander einen Abstand aufweisend auf dem Silizium-Halbleitersubstrat 1 gebildet sind, elektrisch getrennt. Die p-Wannengebiete 411 sind mit n-Diffusionsschichten 415 versehen, die einen Abstand voneinander aufweisen, und eine Gate-Elektrode 414 ist dazwischen gebildet. Die p-Wannengebiete 412 sind mit n-Diffusionsschichten 416 versehen, die einen Abstand voneinander aufweisen, und auch zwischen ihnen ist eine Gate-Elektrode 414 gebildet. Die Gate-Elektroden 414 sind mit einer Isolierschicht 409 bedeckt. Polysilizium-Verbindungsschichten 417, die einen Abstand voneinander aufweisen, sind auf der Isolierschicht 409 gebildet. Eine Basis-Isolierschicht 3 ist auf der SRAM-Zelle 410 gebildet. Diese Basis-Isolierschicht 3 und die Isolierschicht 409 sind mit Kontaktlöchern 418 versehen, die sich jeweils zu den Oberflächen der

n-Storsteilendiffusionsschichten 415 bzw. p-Storsteilendiffusionsschicht 416 erstrecken. Erste Aluminium-Verbindungsschichten 4 sind auf der Basis-Isolierschicht 3 gebildet und stehen in Kontakt mit den Storsteilendiffusionsschichten 415 oder 416 durch die Kontaktlöcher 418. Die Verbindungsstruktur der ersten und zweiten Verbindungsschichten 4 und 100 ist dieselbe wie die in Fig. 1 gezeigte.

Ähnlich können die auf der Oberfläche des Silizium-Halbleitersubstrates 1 gebildeten Elemente noch andere Elemente als DRAM-Zellen oder SRAM-Zellen sein, etwa EPROM-Zellen (Zellen eines löschbaren programmierbaren Nur-Lese-Speichers), EEPROM-Zellen (Zellen eines elektrisch löschbaren programmierbaren ROM), Mikrocomputer-Schaltungselemente, logische CMOS-Schaltungselemente, Bipolartransistor-Elemente o. ä.

Entsprechend der Erfindung wird, wie oben erläutert, eine aus einer Titanschicht mit einer Titan-Verbindungsschicht gebildete gestapelte Schichtstruktur als Basisschicht der oberen Aluminium-Verbindungsschicht, die durch das Verbindungsloch in Kontakt mit der unteren Aluminium-Verbindungsschicht steht, verwendet, wodurch im Gebiet des Verbindungsloches der mehrschichtigen Aluminium-Verbindungsstruktur ein stabiler Kontakt erzielt werden kann. Damit wird der elektrische Kontaktwiderstand stabilisiert und die Zuverlässigkeit der integrierten Halbleiterschaltungseinrichtung, insbesondere ihre Beständigkeit gegenüber Elektromigration und Spannungsmigration, verbessert.

Patentansprüche

1. Verbindungsstruktur für eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung, bei der mehrere Aluminium-Verbindungsschichten durch Verbindungslöcher miteinander verbunden sind, mit einem Halbleitersubstrat (1) mit einer Hauptoberfläche, einer ersten, auf der Hauptoberfläche des Halbleitersubstrates gebildeten Aluminium-Verbindungsschicht (4), einer Oberflächenschicht (312), die mindestens einen Bestandteil aus der Gruppe Metall mit hohem Schmelzpunkt, Verbindung mit hohem Schmelzpunkt, Silizid mit hohem Schmelzpunkt oder amorphes Silizium aufweist, einer auf der Oberflächenschicht (312) gebildeten Isolierschicht (5) mit einem sich zur Oberfläche der Oberflächenschicht (312) erstreckenden Durchgangsloch (6, 308, 418) und einer auf der Isolierschicht (5) gebildeten und durch das Durchgangsloch elektrisch mit der Oberflächenschicht (312) verbundenen zweiten Aluminium-Verbindungsschicht (100), wobei die zweite Aluminium-Verbindungsschicht aufweist:
 - eine auf der Isolierschicht (5) derart gebildete Titanschicht (101), daß sie durch das Durchgangsloch in Kontakt mit der Oberfläche der Oberflächenschicht (312) steht,
 - eine auf der Titanschicht (301) gebildete Titan-Verbindungsschicht (102) und
 - eine auf der Titan-Verbindungsschicht (102) gebildete aluminiumhaltige Schicht (103).
2. Verbindungsstruktur für eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Titanschicht eine Dicke im Bereich von 50 – 150 Å aufweist.

3. Verbindungsstruktur für eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Titan-Verbindungsschicht Titannitrid aufweist.
4. Verbindungsstruktur für eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Titannitrid-Schicht einen spezifischen Widerstand im Bereich von 250 – 400 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ aufweist.
5. Verbindungsstruktur für eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Titannitrid-Schicht eine Dicke im Bereich von 500 – 1000 Å aufweist.
6. Verbindungsstruktur für eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch eine intermetallische Verbindungsschicht (206) aus Titan und Aluminium an der Kontakt-Grenzfläche zwischen der Titanschicht (101) und der Oberflächenschicht (312).
7. Verbindungsstruktur für eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Aluminium-Verbindungsschicht Silizium enthält.
8. Verbindungsstruktur für eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch eine intermetallische Verbindungsschicht aus Titan und Aluminium an einer Kontakt-Grenzfläche zwischen der Titanschicht (101) und der ersten Aluminium-Verbindungsschicht (4), wobei die erste Aluminium-Verbindungsschicht Silizium enthält.
9. Verbindungsstruktur für eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis von Tiefe zu Durchmesser des Durchgangsloches (6, 308, 418) nicht kleiner als 1 ist.
10. Verfahren zur Herstellung einer Verbindungsstruktur für eine integrierte Halbleiterschaltungseinrichtung, bei der mehrere Aluminium-Verbindungsschichten durch Verbindungslöcher miteinander verbunden sind, mit den Schritten:
 - Bilden einer ersten Aluminium-Verbindungsschicht (4) auf einer Hauptoberfläche eines Halbleitersubstrates (1),
 - Bilden einer Oberflächenschicht (312), die mindestens einen Bestandteil aus der Gruppe Metall mit hohem Schmelzpunkt, Metallverbindung mit hohem Schmelzpunkt, Metallsilizid mit hohem Schmelzpunkt und amorphes Silizium aufweist, auf der Oberfläche der ersten Aluminium-Verbindungsschicht (4),
 - Bilden einer Isolierschicht (5) auf der Oberflächenschicht,
 - Bilden eines Durchgangsloches (6, 308, 418), das mindestens eine Oberfläche der Oberflächenschicht (312) freilegt, durch selektives Entfernen der Isolierschicht (5),
 - Bilden einer Titanschicht (101) auf der Isolierschicht derart, daß sie im Durchgangsloch (6, 308, 418) in Kontakt mit der Oberfläche der Oberflächenschicht (312) steht,
 - Bilden einer Titan-Verbindungsschicht (102) auf der Titanschicht und Bilden einer aluminiumhaltigen Schicht (103) auf der Titan-Verbindungsschicht.
11. Verfahren zur Herstellung einer Verbindungsstruktur nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet,

net, daß der Schritt des selektiven Entfernens ein Sputter-Ätzen auf der freigelegten Oberfläche der Oberflächenschicht mittels Argon-Ionen aufweist.

12. Verfahren zur Herstellung einer Verbindungsstruktur nach Anspruch 11, gekennzeichnet durch einen Schritt des Erwärmens zum Bewirken einer Reaktion der Oberflächenschicht (312) und der Titanschicht (101) zur Bildung einer intermetallischen Verbindungsschicht (206) aus Titan und den in der Oberflächenschicht enthaltenen Metallen an einer Grenzfläche zwischen der Titanschicht und der Oberflächenschicht.

13. Verfahren zur Herstellung einer Verbindungsstruktur nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Erwärmens ein Erwärmen für 15–60 Minuten bei einer Temperatur von 300–450° C umfaßt.

Hierzu 14 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

— Leerseite —

FIG. 1

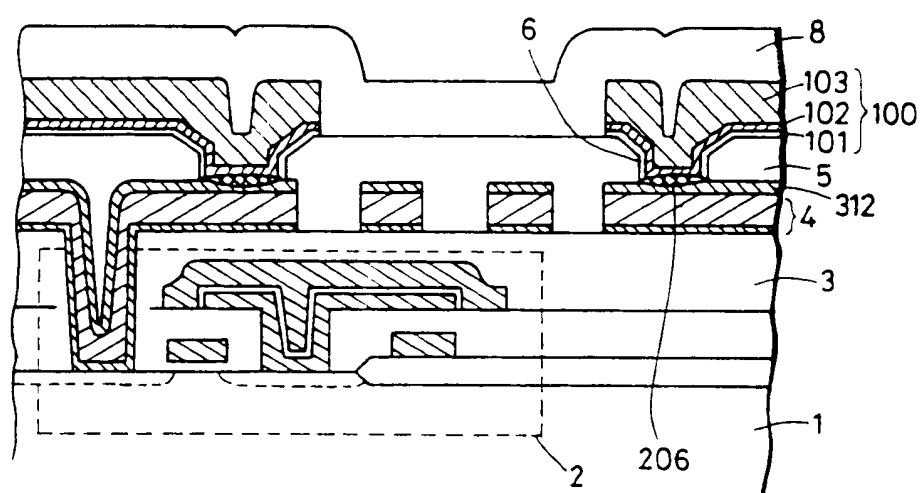


FIG. 2

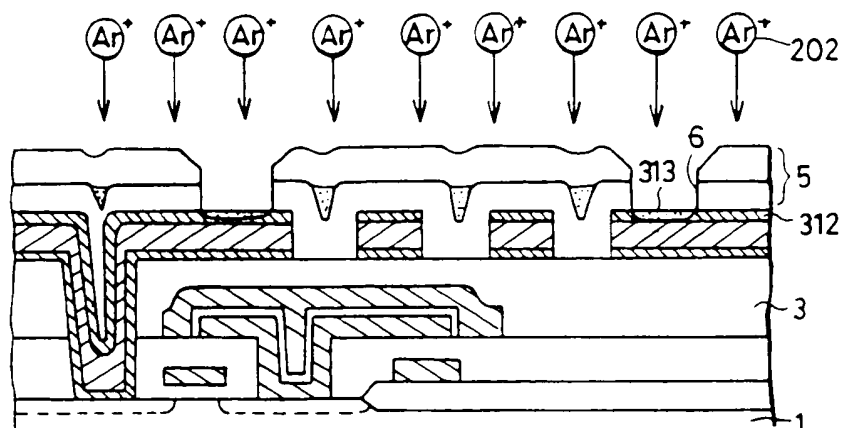


FIG. 3

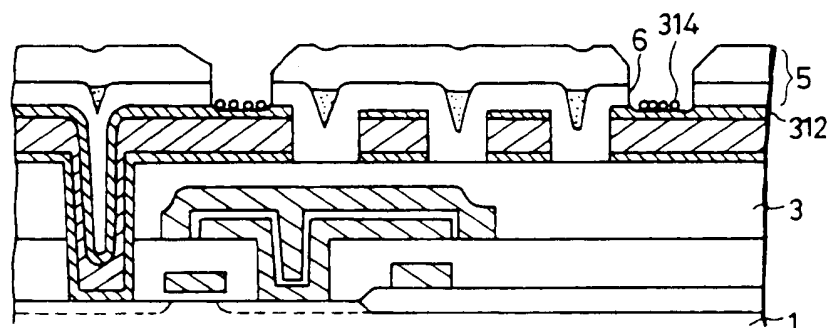


FIG. 4

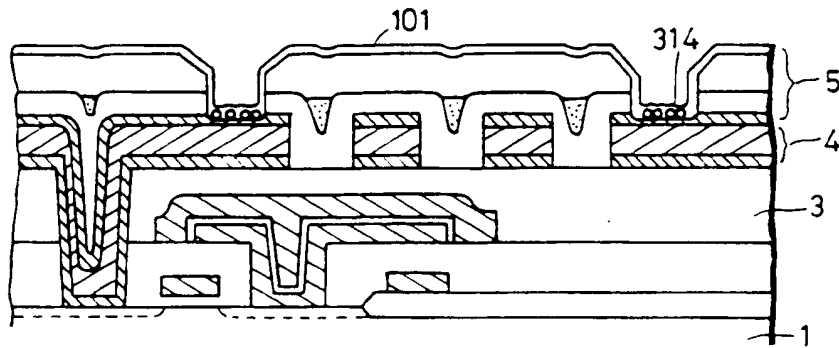


FIG. 5

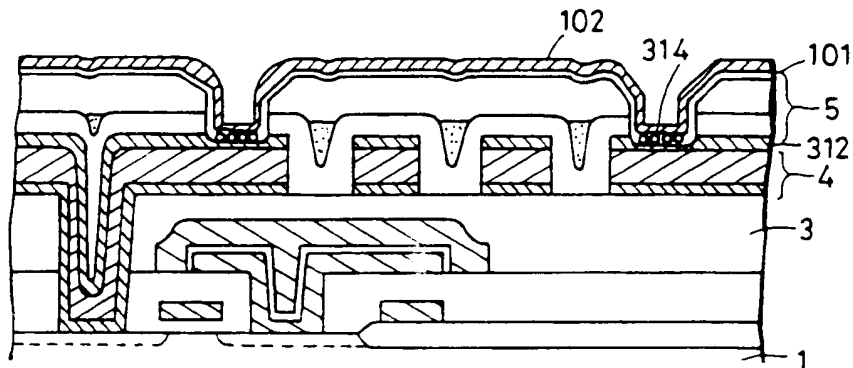


FIG. 6

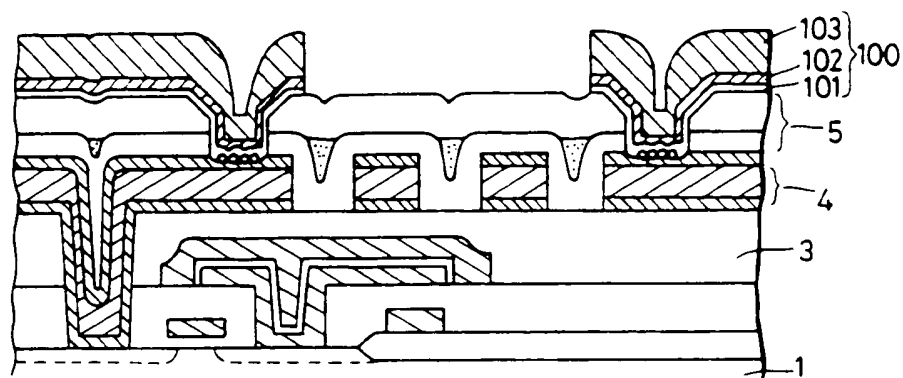


FIG. 7

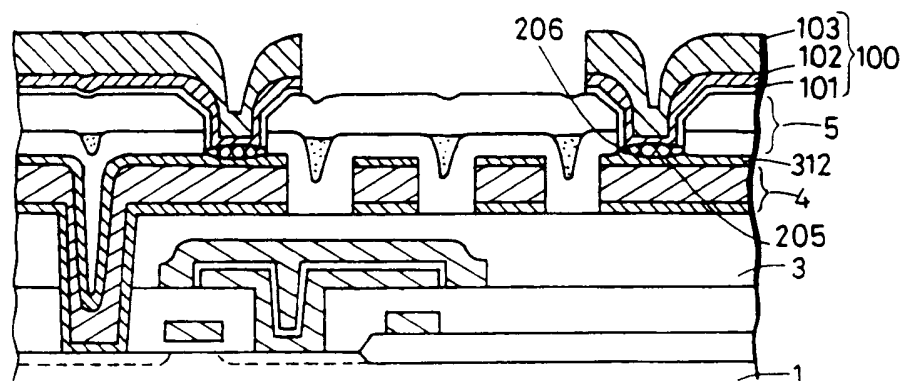


FIG. 8

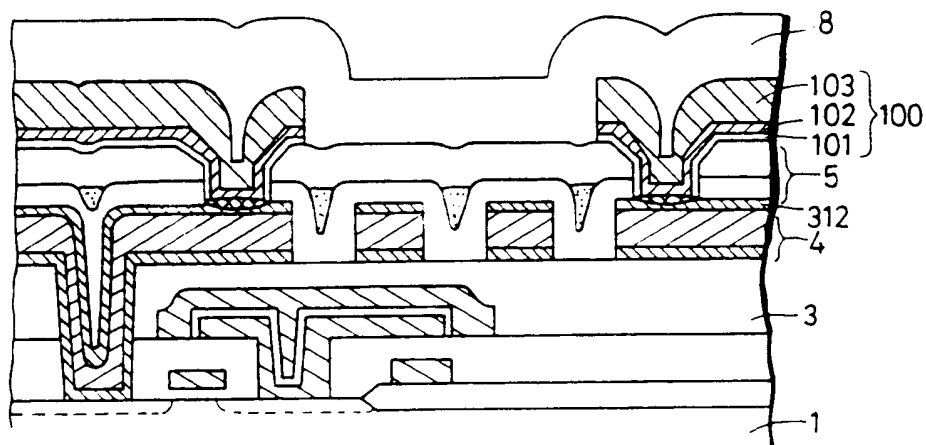


FIG. 9

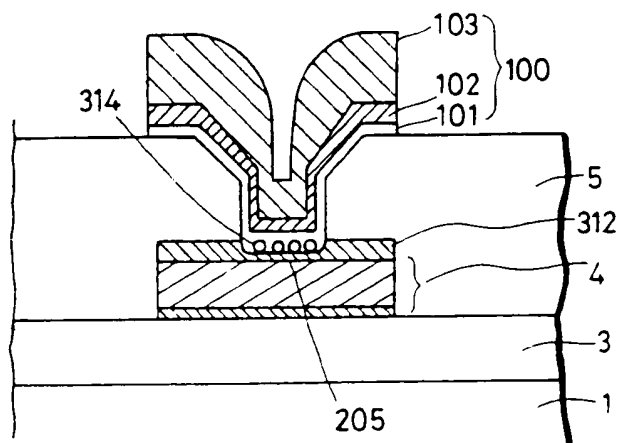


FIG. 10

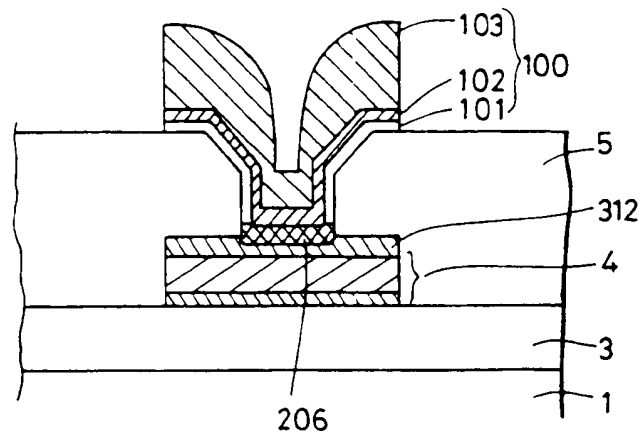


FIG. 11

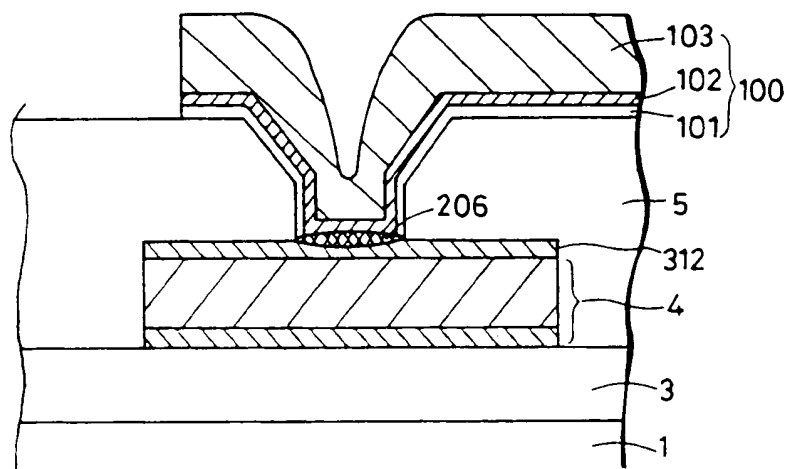


FIG. 12

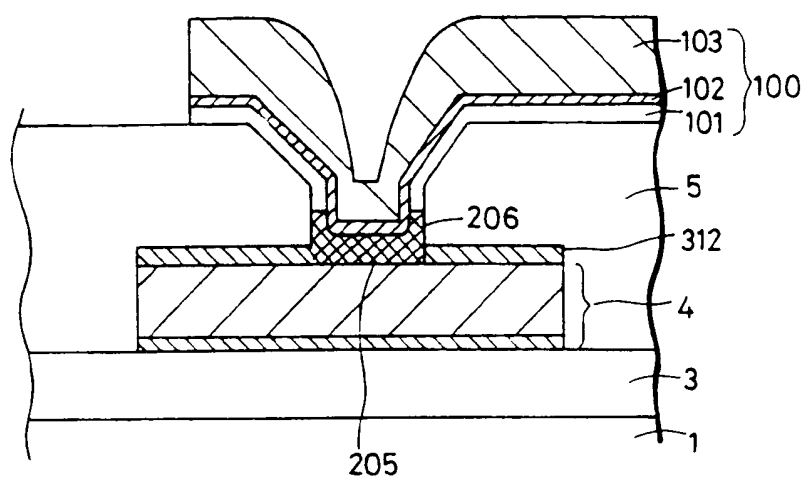


FIG.13

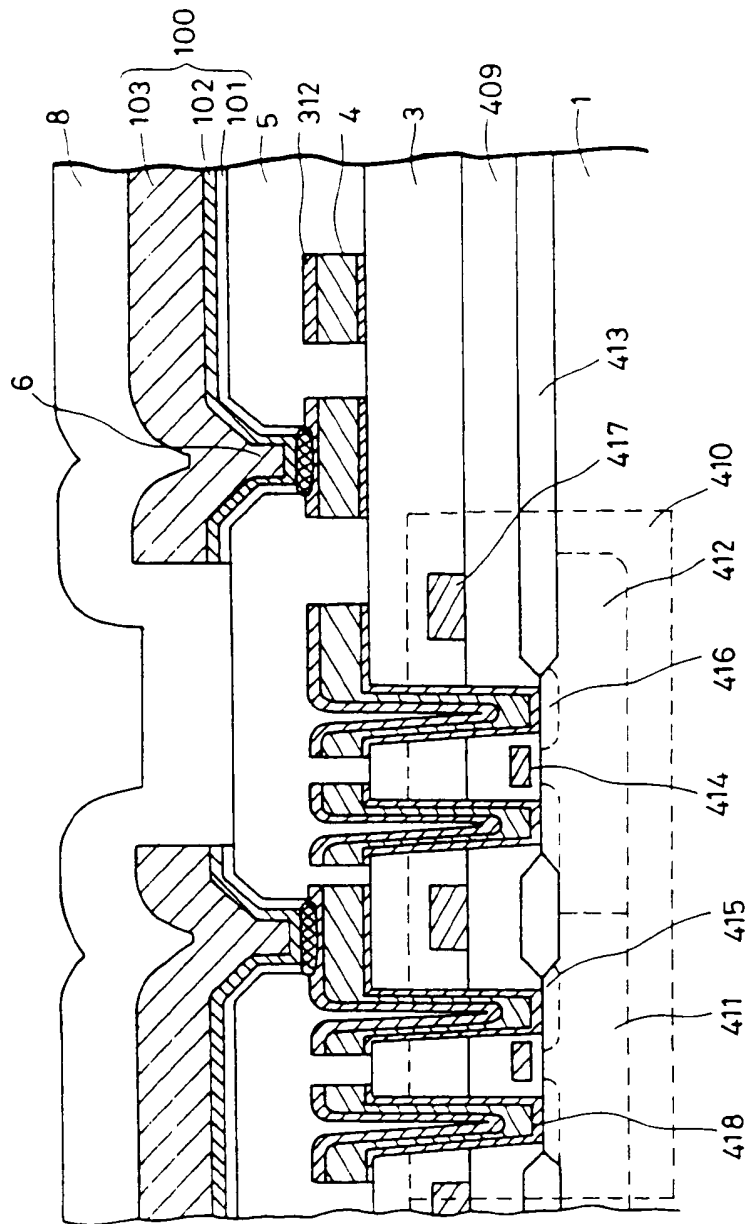


FIG.14

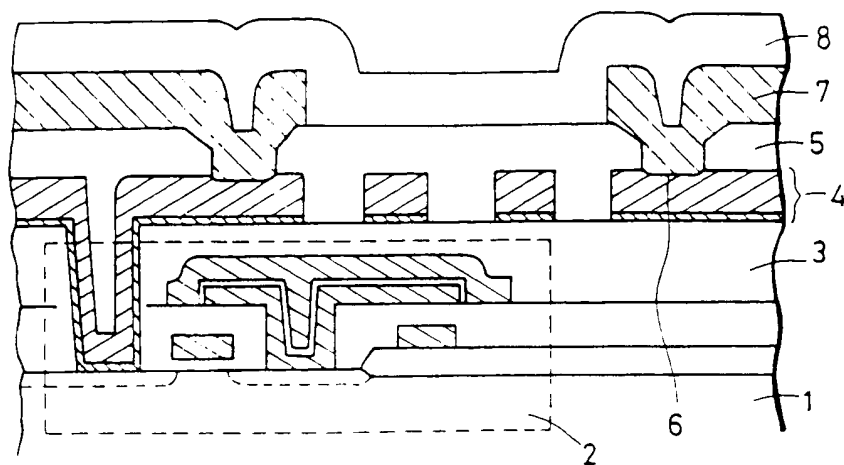


FIG.15

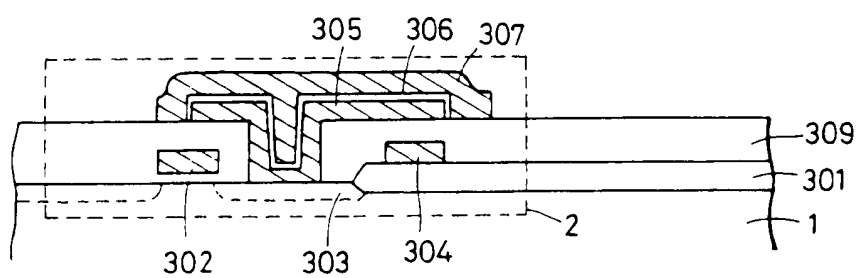


FIG.16

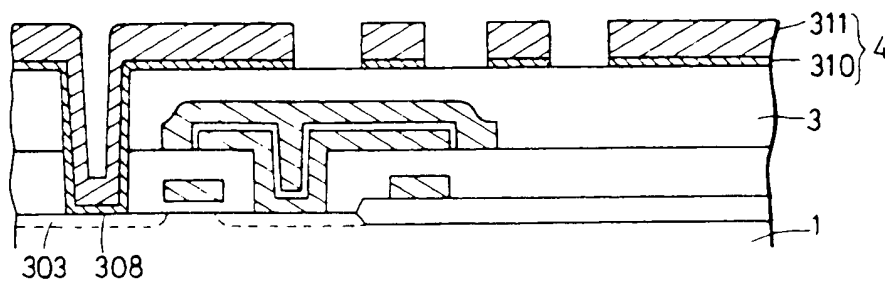


FIG. 17

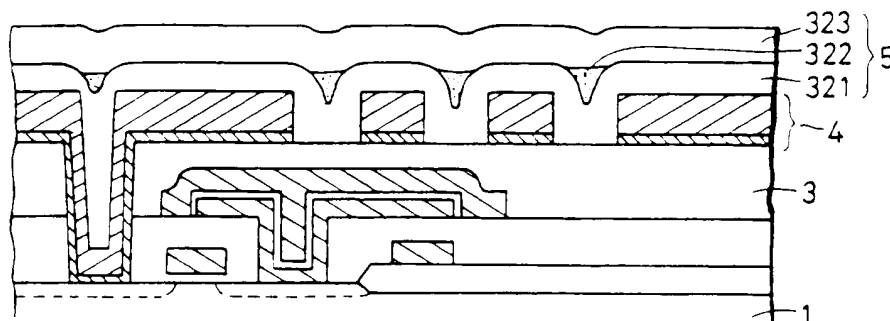


FIG. 18

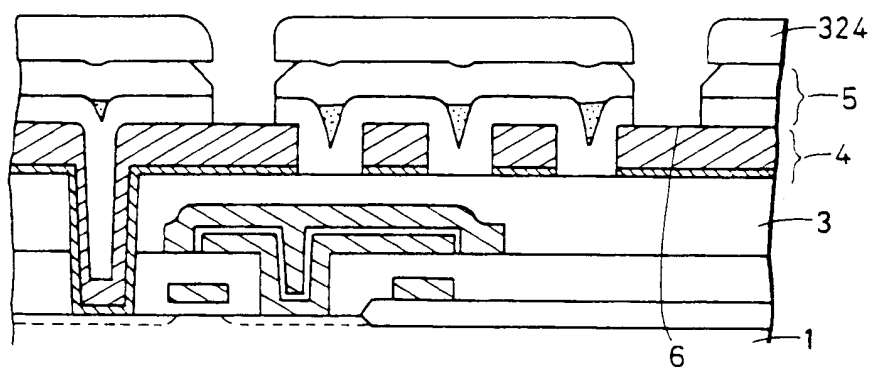


FIG. 19

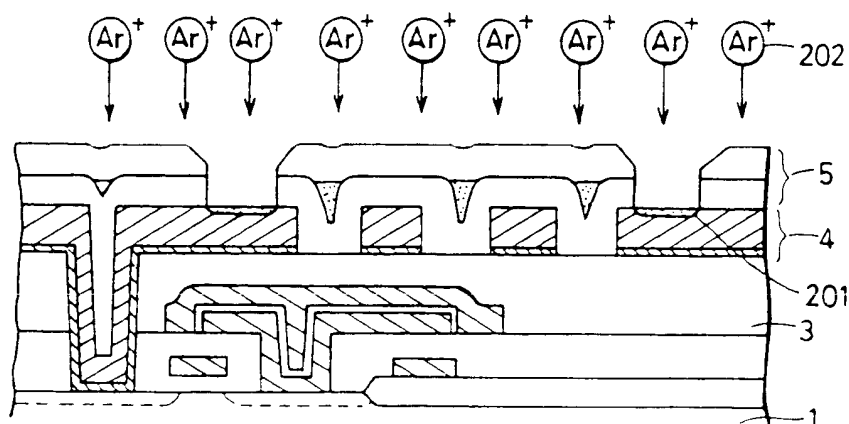


FIG. 20

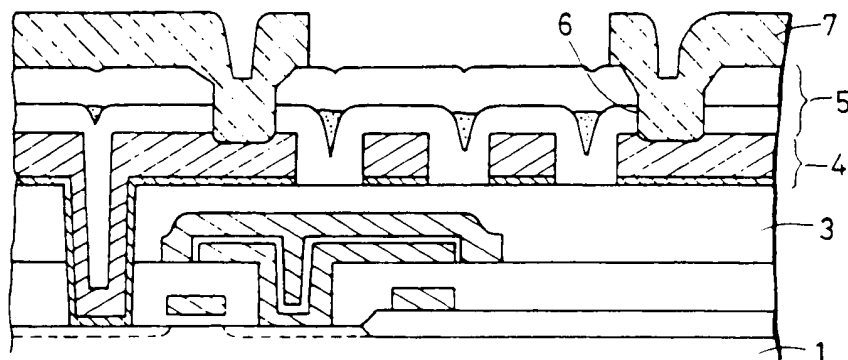


FIG. 21

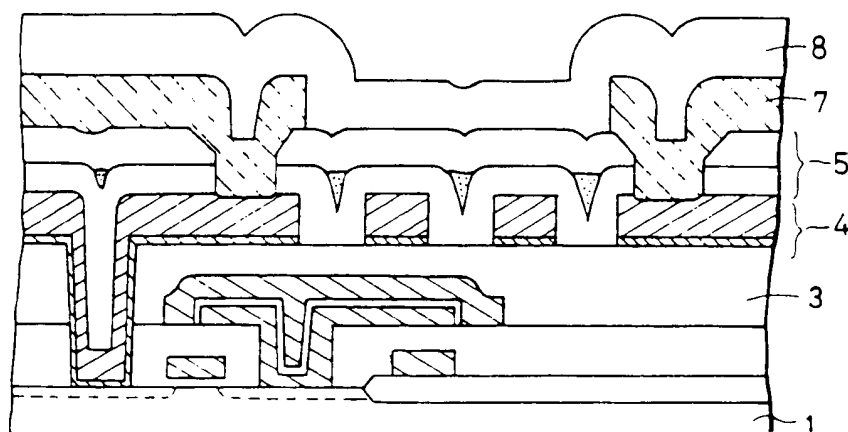


FIG. 22

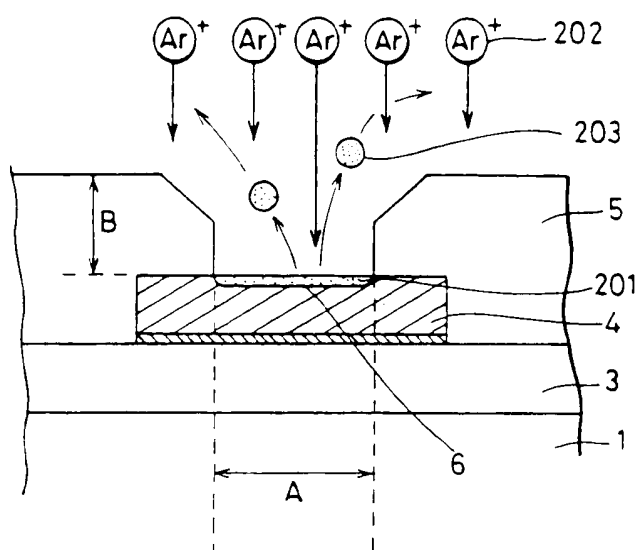


FIG. 23

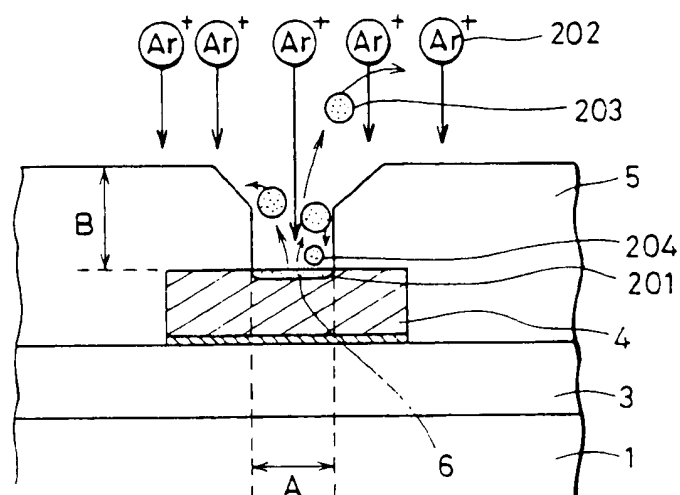


FIG. 24

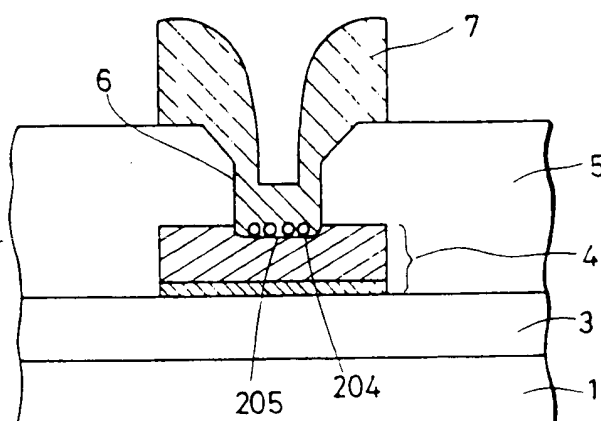
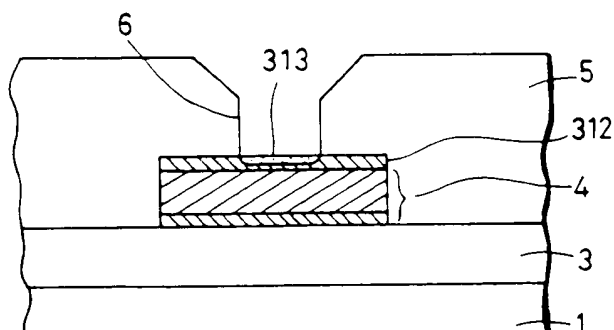


FIG. 25



D. F. M.D. GR 99P 5374
 P. M.D. 09/729,069
 Dr. G. V. H. Nagel et al.
 LORNER AND GREENBERG P.A.
 P.O. BOX 2480
 HOLLYWOOD, FLORIDA 33022
 TEL. (304) 925-1100